

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Харківська національна академія міського господарства

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни

**«Вентиляція і кондиціювання повітря»**

(для студентів 3 курсу усіх форм навчання та слухачів другої  
вищої освіти напряму підготовки 6.060101 «Будівництво»)

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Вентиляція і кондиціонування повітря» (для студентів 3 курсу усіх форм навчання та слухачів другої вищої освіти напрямку підготовки 6.060101 «Будівництво») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: Д.О. Шушляков. – Х., ХНАМГ, 2007. – 17 с.

Укладач: Д.О. Шушляков

Рецензент: В.І. Абелешев

Рекомендовано кафедрою ТХП,  
протокол № 7 від "07" 05 2007 р.

## Лабораторна робота №1

### Знаходження відносної вологості повітря

#### 1. Мета роботи:

Мета роботи полягає у вивченні методики знаходження відносної вологості повітря та методики обчислювання результатів вимірів.

#### 2. Зміст роботи:

2.1. Провести вимірювання температури повітря за допомогою т. з. "сухого" й "мокрого" термометрів психрометра. Вимірювання виконати тричі. Після кожного вимірювання змочити чохли "мокрого" термометра водою і завести пружину, що рухає вентилятор.

2.2. Провести обробку результатів вимірів і заповнити таблицю.

2.3. Визначити відносну вологість повітря та похибку вимірювання.

#### 3. Методика вимірювання відносної вологості повітря

Спосіб вимірювання відносної вологості повітря за допомогою психрометра є найбільш зручним і поширеним. Вимірювальна частина психрометра має два ртутних термометри. Один з термометрів на своєму термобалоні має батистовий чохол. Чохол змочується дистильованою водою, що випаровується у не насичений вологою повітряний потік. Потік рухається вентилятором психрометра. Вимірювання температури слід проводити через 1-1,5 хвилин після зволоження чохла "мокрого" термометра і включення у роботу вентилятора психрометра.

Результати вимірювання слід заносити у відповідні графи таблиці. Маючи температури "сухого" й "мокрого" термометрів, величину відносної вологості повітря визначаємо за допомогою відповідних номограм і ***I-d*** діаграми вологого повітря (див. ***I-d*** діаграму).

#### 4. Методика опрацювання результатів вимірювання.

Кожне вимірювання містить у собі похибку вимірювання.

Похибки вимірювання бувають:

- грубі, або промахи;
- систематичні, обумовлені неточністю вимірювальних приладів та приборів;
- випадкові, що мають імовірнісний характер.

Грубі похибки не беруть до уваги. Кваліфікувати похибку як грубу дозволяють спеціальні методики, які тут не розглядаються. Систематичні похибки зменшують шляхом ремонту приладів і подальшого урахування решти похибок при численних експериментах.

Випадкові помилки не можна не брати до уваги, як це ми зробили із систематичними похибками. Облік їх базується на теорії похибок, в основі якої лежить уявлення, згідно з яким при великій кількості експериментів випадкові похибки однакові за величиною, але протилежні за знаком. Крім того, при нескінченній кількості експериментів істинна величина, що вимірюється, дорівнює середньоарифметичному усіх результатів вимірювання. Результатом вимірювання є випадкова подія, що характеризується нормальним законом розподілу випадкової величини.

Оскільки можна виконати тільки кінцеву кількість експериментів, середньоарифметичне усіх експериментів дорівнюватиме істинному значенню вимірюваної величини з деякою похибкою. Остання визначається довірчим інтервалом, величину якого знаходять, користуючись спеціальною методикою.

Можна рекомендувати такий склад і послідовність операцій при користуванні цією методикою:

1. Виконують вимірювання і їх результати заносять у таблицю (вертикальні граfi 1-4).

2. Вираховують середньоарифметичне згідно з формулою

$$\bar{\varphi} = \frac{1}{n} \sum_{q=1}^n \varphi_q . \quad (1)$$

3. Заповнюють допоміжні граfi 5, 6 таблиці.

4. Знаходять виборну оцінку помилки вимірювання (інакше "стандарт"):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{f} \sum_{q=1}^n (\varphi_q - \bar{\varphi})^2} . \quad (2)$$

5. Далі задаються:

- рівнем значення  $\alpha$  (рекомендується приймати  $\alpha=0,05$ );
- кількістю ступенів свободи  $f$ :

$$f = n - 1 . \quad (3)$$

При обраних значеннях  $\alpha$  та  $f$  за допомогою відповідних математичних таблиць приймають значення коефіцієнта Стюдента  $t_{\alpha}(f)$ .

Наприклад, при  $\alpha=0,05$  та  $f=2$   $t_{\alpha}(f)=4,3$ .

6. Прийняті параметри вимірювання дозволяють визначити величину середньоарифметичного та імовірні похибки середньоарифметичного:

$$\varepsilon_o = \frac{t_{\alpha}(f)\sigma}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

Знайдений результат формулюється так: з рівнем ризику  $\alpha=0,05$  (імовірність  $P=95\%$ ) істинна величина відносної вологості повітря знаходиться у довірчому інтервалі:

$$\bar{\varphi} + \varepsilon_o \geq \varphi_{\text{ист}} \geq \bar{\varphi} - \varepsilon_o . \quad (5)$$

або:

$$\varphi_{\text{ист}} = \bar{\varphi} \pm \varepsilon_o . \quad (6)$$

### Результати експериментів та їх обробки

| q | t | t <sub>м</sub> | φ <sub>q</sub> | φ <sub>q</sub> - $\bar{\varphi}$ | (φ <sub>q</sub> - $\bar{\varphi}$ ) <sup>2</sup> |
|---|---|----------------|----------------|----------------------------------|--|
| 1 | 2 | 3              | 4              | 5                                | 6  |

Лабораторна робота №2  
Вимірювання тиску потоку повітря

**1. Мета роботи:**

Мета роботи полягає у вивченні методики вимірювання тиску потоку повітря за допомогою мікроманометра типу ММН.

**2. Зміст роботи:**

2.1. Ознайомитися з паспортом мікроманометра ММН і конструкцією трубки Піто.

2.2. Розібратися з принципом рівноваги тиску й рівня рідини у корпусі й трубці манометра. Дати схеми вимірювання повного статичного та динамічного тиску в повітропроводах, що мають тиск більше і менше барометричного.

2.3. Провести вимірювання повного, статичного й динамічного тиску на вході повітря у вентиляційну систему і на виході з неї. Результати занести в таблицю.

**3. Методика виконання роботи**

Ознайомлення з конструкцією і технічними характеристиками мікроманометра проводять за допомогою паспорта і зразка приладу.

Ознайомлення з приймачем тиску повітря здійснюють за допомогою фізичного зразка трубки Піто. Схема трубки подана на рис. 1. Коаксіально розміщені трубки меншого (приймач повного тиску) і більшого (приймач статичного тиску) діаметрів з'єднують гумовими шлангами з штуцерами мікроманометра. Носик трубки при вимірюванні розміщують паралельно осі повітропроводу і на зустріч потоку повітря.

З'єднання трубки і мікроманометра виконують згідно зі схемою, поданою на рис.2. Характер з'єднання визначається тим, який тиск і в якому повітропроводі треба вимірювати. При цьому слід керуватися такими правилами:

- на корпус приладу, який позначено знаком "+", завжди подається більший тиск, ніж на трубку;
- при вимірюванні мікроманометром за нуль тиску приймається барометричний тиск на позначці рівня вимірювання;
- динамічний тиск завжди приймається більшим нуля. Тоді, якщо тиск у повітропроводі менше нуля, статичний тиск за модулем є більшим, ніж повний тиск. Але в будь-якому повітропроводі має місце співвідношення

$$P_{\text{п}} = P_{\text{ст}} + P_{\text{д}} \quad . \quad (7)$$

# Результати вимірів тиску

| Тиск, кгс/м <sup>2</sup> | Тиск у повітропроводі |                       |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------|
|                          | менше барометричного  | більше барометричного |
| повний                   |                       |                       |
| статичний                |                       |                       |
| динамічний               |                       |                       |

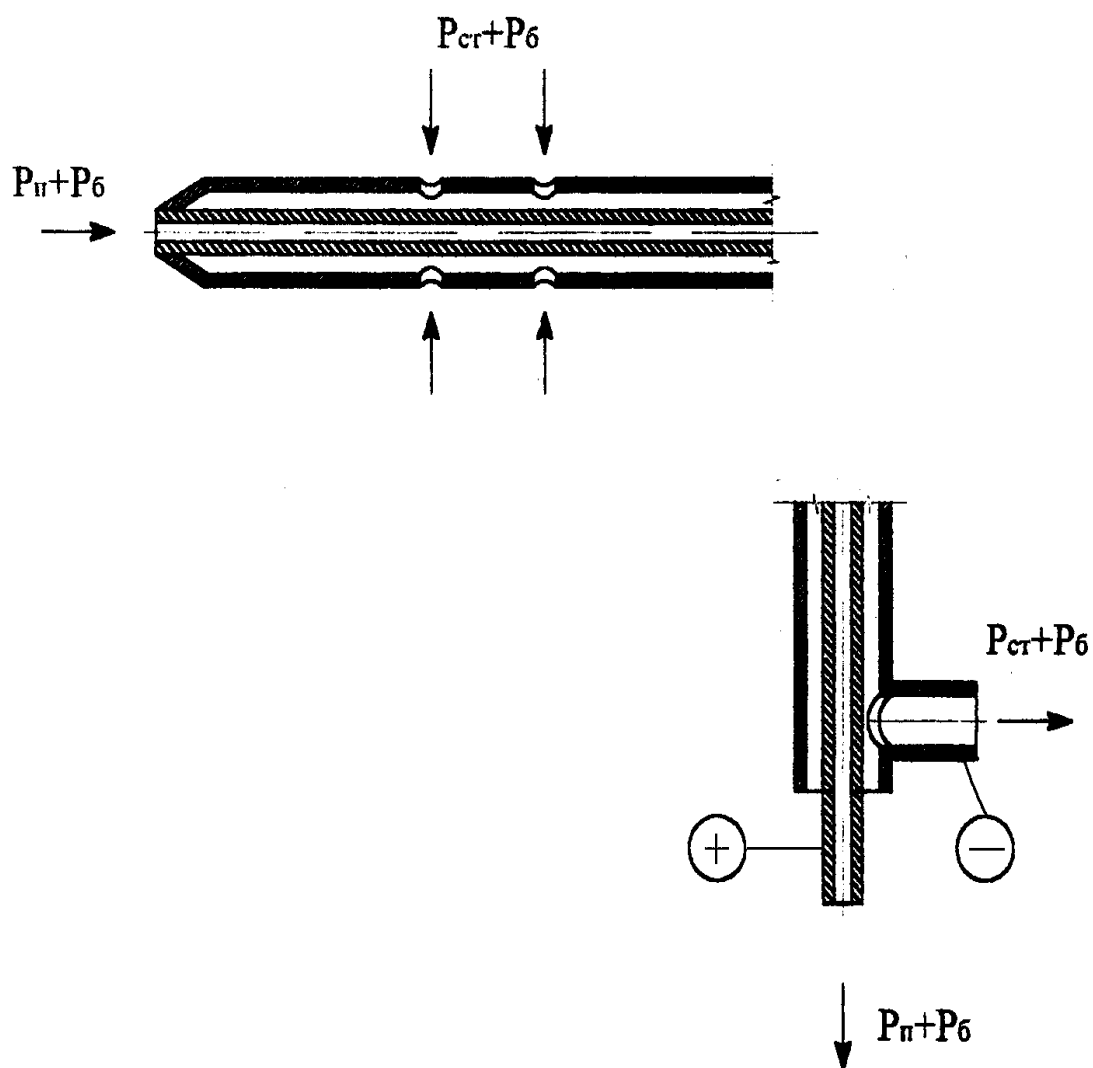
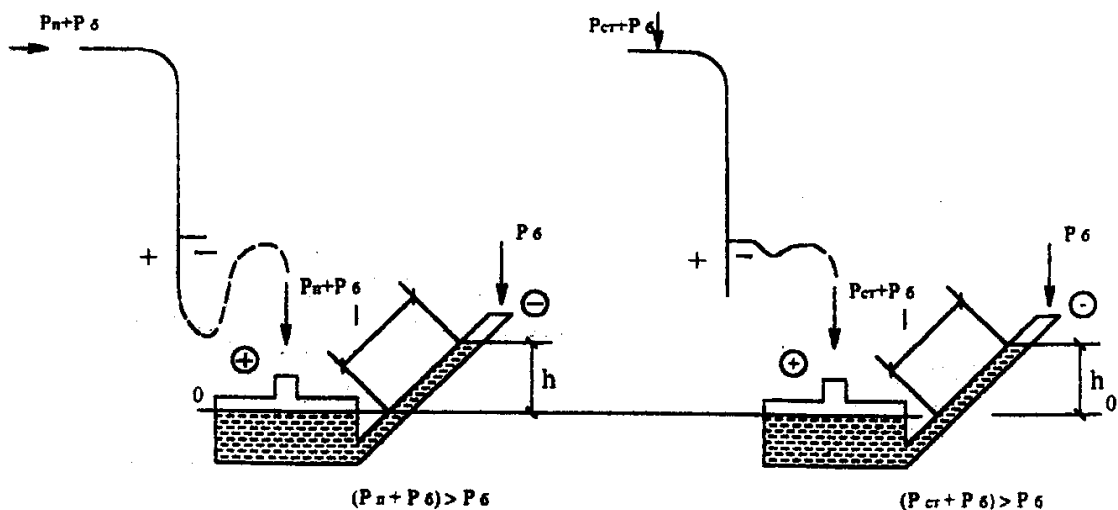
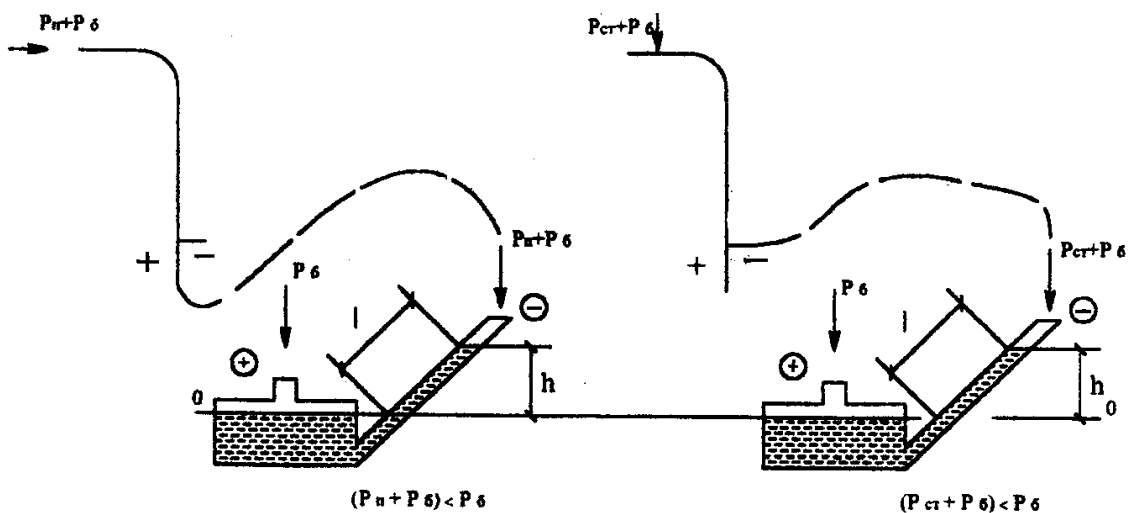


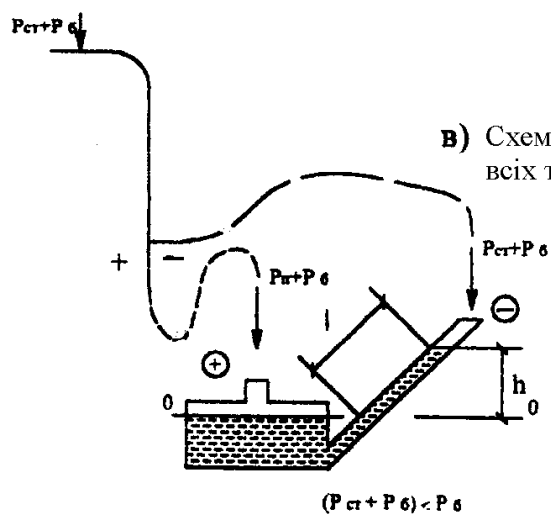
Рис. 1 – Схема трубки Піто



а) Схема вимірювання повного й статичного тиску в повітропроводі, що має тиск більше барометричного



б) Схема вимірювання повного й статичного тиску в повітропроводі, що має тиск менше барометричного



в) Схема вимірювання динамічного тиску для всіх типів повітропроводів

Рис. 2 - Схема вимірювання тиску повітря мікроманометром



## Лабораторна робота №3

### Визначення характеристики вентиляційної мережі

#### 1. Мета роботи:

Мета роботи полягає в оволодінні методикою визначення характеристики вентиляційної мережі (вентмережі).

#### 2. Зміст роботи:

2.1. Виконати вимірювання тиску в чотирьох перерізах вентмережі (рис. 4). Результати вимірювання занести в таблицю.

2.2. За результатами вимірювання визначити витрати тиску в перерізі "1" розрахувати об'єм повітря, яке подає вентилятор. Результати вимірювання та розрахунків занести в таблицю.

2.3. Побудувати графік характеристики вентмережі.

#### 3. Методика виконання роботи

3.1. Характеристика вентмережі встановлює зв'язок між втратою тиску повітря у мережі та об'ємом повітря, яке подає вентилятор. В аналітичній формі характеристика вентмережі має вигляд рівняння

$$P = kL^2 . \quad (8)$$

Роботу виконують на стенді, до складу якого входять вентилятор, повітропроводи й шибери.

3.2. Виміри тиску потоку повітря здійснюють за допомогою мікроманометра ММН з приймачем тиску – пневмометричною трубкою (трубка Піто). Точність виміру мікроманометром малої величини тиску підвищується, якщо похилу трубку зі шкалою укріпити під гострим кутом до горизонтальної площини. Тиск потоку повітря обчислюють за формулою

$$P = \phi \cdot \ell , \text{ кгс/м}^2, \quad (9)$$

де  $\ell$  – довжина тієї частини шкали, що заповнена робочою рідиною, мм;

$\phi$  – фактор мікроманометра, коефіцієнт, що враховує кут нахилу трубки відносно горизонтальної площини (може приймати дискретне значення – 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,8) і питому вагу робочої рідини (спирт).

3.3. Об'єм повітря, яке транспортує вентилятор повітропроводами, обчислюється згідно з результатами виміру динамічного тиску на осі потоку в перерізі "1". Швидкість потоку на осі повітропроводу обчислюють за формулою, м/с:

$$v_o = \left( \frac{2gP_d}{\gamma_n} \right)^{0.5} . \quad (10)$$

Об'єм повітря знаходять за формулою, м<sup>3</sup>/год.

$$L = 3600 f v_{cp} , \quad (11)$$

де  $v_{cp} = 0,81 v_o$ , м/с.

3.4. Втрату тиску повітря у повітропроводах обчислюємо згідно з виразом

$$P_c = P_{п2} + P_{п3}, \quad (12)$$

де  $P_{п2}$ ;  $P_{п3}$  – повний тиск потоку повітря, обчислений за результатами вимірів тиску в перерізах "2" і "3".

3.5. Результати вимірів і обчислювань за наведеними формулами подають у таблиці.

Результати вимірів та обчислювань

| Дані<br>вимірів і обчислень                        | Номери перерізів повітропроводу |   |   |   |
|--|---------------------------------|---|---|---|
|  | 1                               | 2 | 3 | 4 |
| Повний тиск, кгс/м <sup>2</sup>                    |                                 |   |   |   |
| Статичний тиск, кгс/м <sup>2</sup>                 |                                 |   |   |   |
| Динамічний тиск, кгс/м <sup>2</sup>                |                                 |   |   |   |
| Швидкість на осі, м/с                              |                                 | - | - | - |
| Середня за перерізом швидкість повітря, м/с        |                                 | - | - | - |
| Об'єм повітря, м <sup>3</sup> /год                 |                                 | - | - | - |
| Загальна втрата тиску в мережі, кгс/м <sup>2</sup> | $P_{п2} + P_{п3} =$             |   |   |   |

3.6. Графік характеристики вентмережі (рис 3) будуємо в координатах  $P_c$  -  $L$  (повний тиск - об'єм повітря). Об'єм повітря слід брати у тис. м<sup>3</sup>/год. Графік функції - це квадратична парабола, що проходить через точку початку координат ( $P_c=0$ ;  $L=0$ ) і точку на характеристиці мережі, що відповідає максимальному об'єму повітря для даної мережі. Це дані одержані при вимірах (див. таблицю).

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

### Визначення характеристики радіального вентилятора

#### 1. Мета роботи:

Метою роботи є опанування методикою побудови характеристики радіального вентилятора.

#### 2. Зміст роботи:

2.1. Для кожної з чотирьох позицій шибера на подавальному повітропроводі після вентилятора ( див. таблицю ) виконати вимірювання і внести в таблицю повний, статичний і динамічний тиск у перерізах повітропроводу 1,2,3.

2.2. Обчислити подачу вентилятора за результатом вимірювання динамічного тиску в перерізі повітропроводу 1.

2.3. Визначити повний тиск вентилятора за результатами вимірювання в перерізах 2, 3 повітропроводу (рис 4).

2.4. Побудувати графік характеристики вентилятора P-L (рис. 5).

#### 3. Методика виконання роботи

3.1. При постійній частоті обертів робочого колеса вентилятор має максимальну подачу без вентмережі. Якщо приєднати вентмережу, об'єм повітря, яке подає вентилятор, залежатиме від її аеродинамічного опору. Опором можна керувати зміною позиції шибера.

3.2. Результати вимірів тиску потоку повітря і обчислені параметри вентмережі заносять у таблицю. Формули, за якими обчислюють параметри, слід брати з лабораторної роботи №3.

3.3. Графік характеристики вентилятора будують в координатах P-L. Величини повного тиску і відповідні їм величини подачі вентилятора позначають точками на графіку, з'єднуючи їх плавною лінією.

# Результати вимірів та розрахунків

| №<br>перерізів             | Параметри | Позиція шибера |                    |                     |             |
|----------------------------|-----------|----------------|--------------------|---------------------|-------------|
|                            |           | відкр.         | відкр.<br>0,5 ходу | відкр.<br>0,25 ходу | зачин.      |
| 2                          | $P_{ст}$  |                |                    |                     |             |
|                            | $P_{д}$   |                |                    |                     |             |
|                            | $P_{п2}$  |                |                    |                     |             |
| 3                          | $P_{ст}$  |                |                    |                     |             |
|                            | $P_{д}$   |                |                    |                     |             |
|                            | $P_{п3}$  |                |                    |                     |             |
| 1                          | $P_{д}$   |                |                    |                     |             |
|                            | $v_o$     |                |                    |                     |             |
|                            | $v_{ср}$  |                |                    |                     |             |
|                            | $L$       | $L_I=$         | $L_{II}=$          | $L_{III}=$          | $L_{IV}=$   |
| $P_{пв}= P_{п2} + P_{п3} $ |           | $P_{пвI}=$     | $P_{пвII}=$        | $P_{пвIII}=$        | $P_{пвIV}=$ |

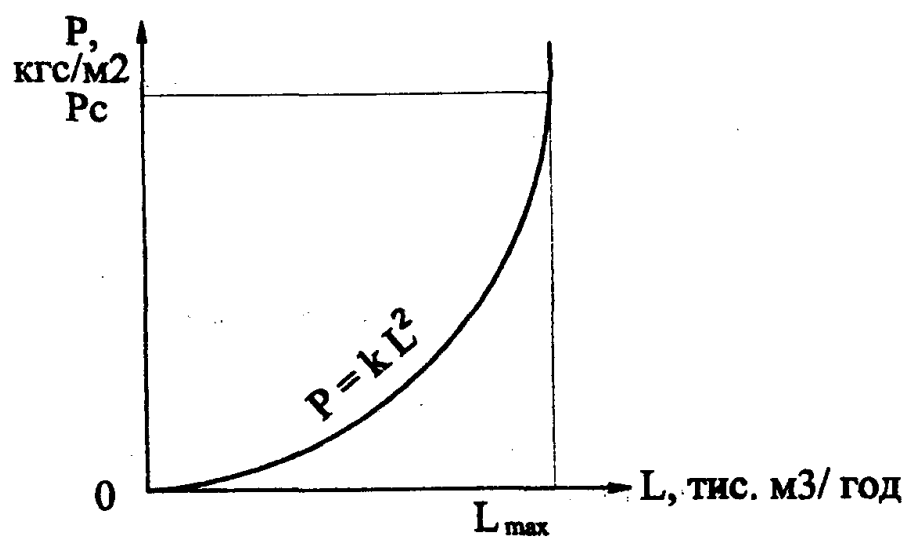


Рис. 3 - Графік характеристики вентиляційної мережі

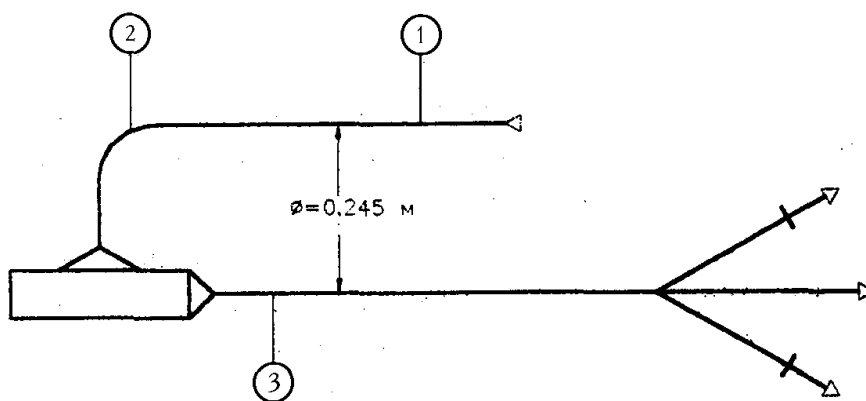


Рис. 4 - Схема вентиляційної мережі

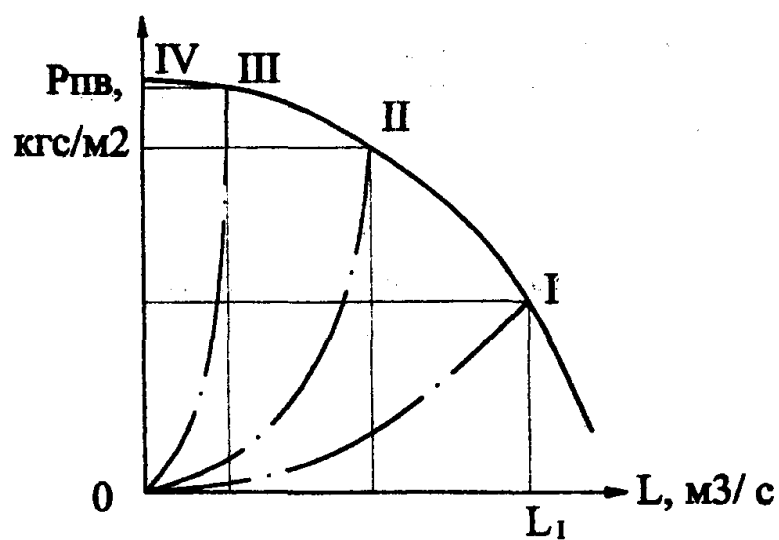


Рис. 5 - Графік характеристики вентилятора

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5**

### **Регулювання вентиляційних систем на задані витрати повітря**

#### **1. Мета роботи:**

Метою роботи є опанування методикою регулювання вентиляційної системи на задані проектом витрати повітря у приміщеннях.

#### **2. Зміст роботи:**

2.1. Визначити за результатами вимірів у перерізі 1 прийомного повітропроводу подачу повітря при повністю відкритому шибері на повітропроводі діаметром 245 мм.

2.2. Розподілити одержану кількість повітря між трьома (рис. 6) повітропроводами у співвідношенні 1:4:2 ( див. таблицю). Розрахувати відповідні цьому співвідношенню витрати повітря по повітропроводах та середньовитратну швидкість повітря за перерізами повітропроводів. За одержаною швидкістю розрахувати величину динамічного тиску в кожному повітропроводі, що регулюється, та відповідне цієї величині позначення шкали мікроманометра при факторі приладу 0,4.

2.3 Провести регулювання витрат повітря по повітропроводах згідно з наведеною схемою, використовуючи позначені на схемі шиберу. Фактичні значення витрат повітря після регулювання, якщо вони не відхиляються від заданих більше ніж на 15%, занести в таблицю.

#### **3. Методика виконання роботи**

3.1. При виконанні роботи застосовують співвідношення параметрів і формули, наведені в роботах [2, 3].

3.2. Результати експериментів та розрахунків за ними оформляють згідно з таблицею.

3.3. Регулювання повітропроводів на задані витрати слід починати з повітропроводів, що мають найбільший діаметр, методом поступового наближення, тобто застосовуючи кілька циклів регулювання.

## Вихідні дані й результати регулювання вентмережі

| Найменування параметрів                       | Номера повітропроводів згідно із схемою |       |       |
|---|---|-------|-------|
|   | 1                                       | 2     | 3     |
| Діаметр повітропроводу, м                     | 0,130                                   | 0,245 | 0,195 |
| Витрата повітря, м <sup>3</sup> /год          |   |       |       |
| Площа перерізу повітропроводу, м <sup>2</sup> |   |       |       |
| Середньовтратна швидкість, м/с                |   |       |       |
| Швидкість по осі повітропроводу, м/с          |   |       |       |
| Динамічний тиск, кгс/м <sup>2</sup>           |   |       |       |
| Позначення шкали ММН при $\Psi=0,4$ , мм      |   |       |       |
| Результати регулювання системи                |   |       |       |
| Позначення шкали ММН, мм                      |   |       |       |
| Динамічний тиск, кгс/м <sup>2</sup>           |   |       |       |
| Швидкість по осі повітропроводу, м/с          |   |       |       |
| Середньовтратна швидкість, м/с                |   |       |       |
| Витрата повітря, м <sup>3</sup> /год          |   |       |       |

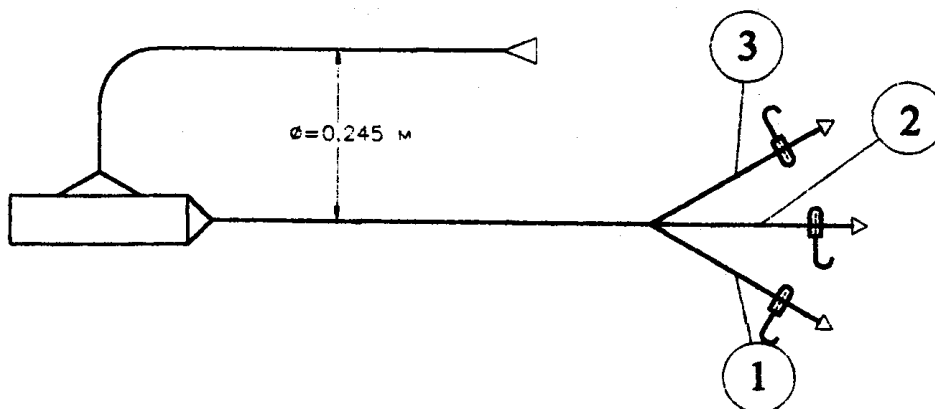


Рис. 6 – Схема вентиляційної мережі

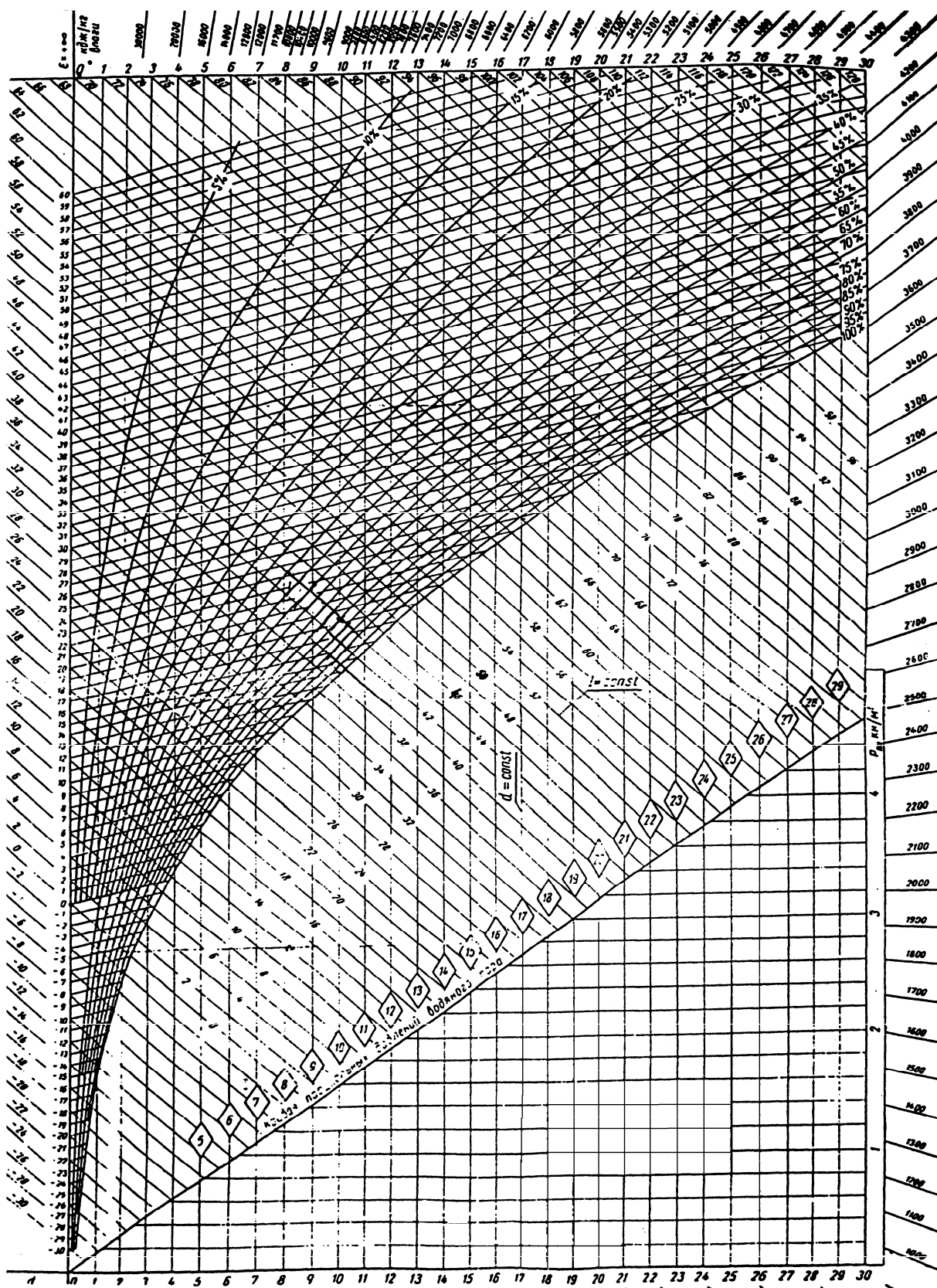
## Список літератури

1. ГОСТ 12.3.018-79 Системы вентиляции. Методы аэродинамических испытаний. - М., 1979.
2. Вахвахов Г.Г. Работа вентиляторов в сети. - М.: Стройиздат, 1975.
3. Калинушкин М.П. Вентиляторные установки. - М.: Высшая школа, 1962.

## Умовні позначення

- $\varphi$  – відносна вологість повітря, %  
 $\bar{\varphi}$  – середньоарифметичне за результатами вимірювання значення відносної вологості повітря, %  
 $n$  – кількість паралельних експериментів  
 $q$  – порядковий номер експерименту  
 $\varphi_q$  – результат вимірювання в експерименті  
 $f$  – кількість ступенів свободи  
 $\alpha$  – рівень значення  
 $t_{\alpha}(f)$  – критерій Стюдента  
 $\sigma$  – стандарт  
 $\varphi_{\text{іст}}$  – істинне значення вимірюваної відносної вологості повітря, %  
 $P_{\text{п}}, P_{\text{ст}}, P_{\text{д}}$  – відповідно повний, статичний і динамічний тиск, кгс/м<sup>2</sup>  
 $P_{\text{б}}$  – барометричний тиск  
 $h$  – висота стовпчика рідини у трубці мікроманометра, м  
 $\gamma_{\text{р}}$  – питома вага рідини в мікроманометрі, кгс/м<sup>3</sup>  
 $\ell$  – позначення рідини на шкалі мікроманометра, мм  
 $\phi$  – фактор мікроманометра  
 $P_{\text{с}}$  – втрата тиску повітря у вентмережі, кгс/м<sup>2</sup>  
 $L$  – витрата повітря, подача вентилятора, м<sup>3</sup>/год  
 $k$  – константа даної вентмережі  
 $\gamma_{\text{п}}$  – питома вага повітря, кгс/м<sup>3</sup>  
 $v_{\text{о}}$  – швидкість потоку повітря на осі повітропроводу, м/с  
 $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>  
 $f$  – площа перерізу повітропроводу, м<sup>2</sup>  
 $v_{\text{ср}}$  – середньовитратна швидкість потоку в повітропроводі, м/с





I-d діаграма вологого повітря

Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни **«Вентиляція і кондиціювання повітря»** (для студентів 3 курсу усіх форм навчання та слухачів другої вищої освіти напряму підготовки 6.060101 «Будівництво»).

Укладач Шушляков Дмитро Олександрович

Відповідальний за випуск І.Л. Деркач

Редактор М.З. Аляб'єв

План 2007, поз. 51 М

---

|                           |                             |
|---------------------------|-----------------------------|
| Підп. до друку 03.07.2007 | Формат 60×84 $\frac{1}{16}$ |
| Друк на ризографі         | Ум. друк. арк. 1,1          |
| Тираж 50 пр.              | Зам. №.                     |

---

Видавець і виготовлювач:  
Харківська національна академія міського господарства  
вул. Революції, 12, Харків, 61002  
Електронна адреса: [rectorat@ksame.kharkov.ua](mailto:rectorat@ksame.kharkov.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 731 від 19.12.2001